



Simulasi Pembuatan Etil Asetat Menggunakan Reactive Dividing Wall Column Dengan Katalis Asam Sulfat

Johannes Martua Hutagalung* dan Budi Husodo Bisowarno

Program Studi Magister Teknik Kimia, FTI, Universitas Katolik Parahyangan, Jalan Merdeka no.30, Bandung

*Email : johannesmartua85@gmail.com

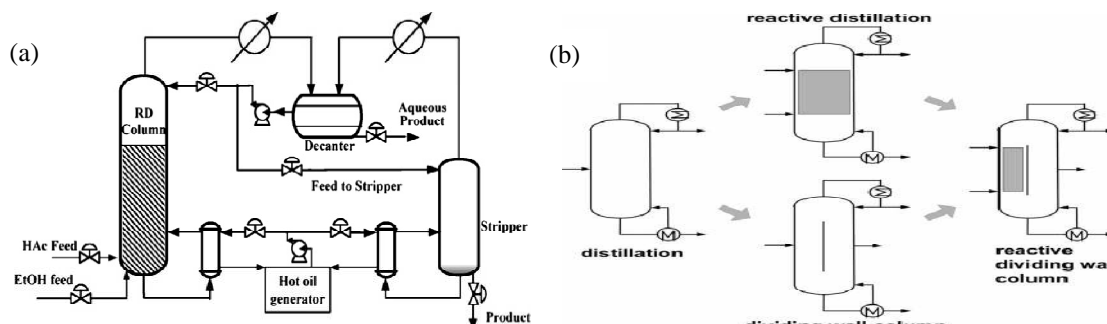
Abstract

Reactive Dividing Wall Column (RDWC) is an innovation which integrate reaction and distillations into one unit. The purpose of this study aims to simulate both reboiler duty and distillate rate to obtain the purity of ethyl acetate, water, and acetic acid in the stream products using Aspen Plus simulation software. RadFrac modul is used to model vapor –liquid equilibrium in the column and NRTL model is used to calculate thermodynamic properties in the liquid and vapor phases. The model has been validated by comparing both temperature as well as product composition profiles to those of open literature. The simulation results show that varying the distillate rate (D) and reboiler duty (Qr) will affect the purity of distillate components (ethyl acetate), side product (water) and bottom component (acetic acid). Based on maximum purity of ethyl acetate, the operating conditions are respectively recommended at distillate rate of 74.902 mole/h and reboiler duty of 1.93 kW. The product compositions are 73.69 mol% ethyl acetate, 90.21 mol% water and 42.98 mol% acetic acid.

Keywords : Reactive Dividing Wall Column, Ethyl Acetate Synthesis, Simulation

Pendahuluan

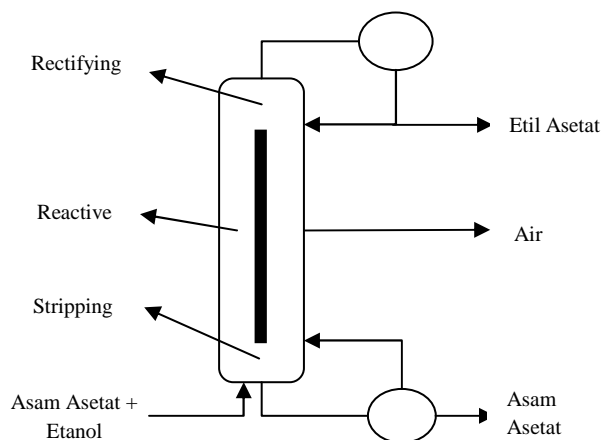
Perkembangan teknik kimia sekarang ini semakin canggih. Dengan intensifikasi proses reaktor dan pemisahan dengan kolom distilasi diintegrasikan dalam satu *reactive distillation* (RD) atau distilasi reaktif. Distilasi reaktif telah diaplikasikan di industri kimia karena pengurangan biaya investasi dan kebutuhan energi (I-Kuan Lai, 2007). Diagram alir RD untuk pembuatan etil asetat dengan katalis heterogen disajikan pada Gambar 1 (a). Keterbatasan RD adalah reaksi harus berlangsung pada fasa cair sehingga katalis harus tetap terbasahi, temperatur reaksi harus ekuivalen dengan temperatur didih dari cairan dan reaksi yang terjadi tidak boleh terlalu endoterm. Untuk RD pembuatan etil asetat, proses pemurnian lebih lanjut diperlukan. Untuk menggantikan pemurnian lanjutan, maka *Reactive Dividing Wall Column* (RDWC) dikembangkan (Ivo Mueller, 2007). Jadi RDWC dapat dipahami sebagai integrasi lebih lanjut antara RD dengan kolom distilasi atau kolom DWC seperti pada Gambar 1 (b).



Gambar 1. (a) *Reactive Distillation* , (b) Pengembangan Unit Distilasi menjadi *Reactive Dividing Wall Column*

RDWC untuk memproduksi Etil Asetat, dimana tidak diperlukan pemurnian lanjutan seperti pada RD telah disimulasikan (Salvador Hernandez dkk, 2012) dengan diagram alirnya yang disajikan pada Gambar 2. Meskipun dimungkinkan penggunaan katalis heterogen pada RD, katalis homogen digunakan pada RDWC ini sehingga reaksi

berlangsung pada semua tahap di dalam kolom RDWC. Berdasarkan hasil simulasi, RDWC dapat melakukan penghematan investasi dan biaya operasi sekitar 40% (Salvador Hernandez dkk, 2012). Hal ini berarti RDWC memiliki peluang yang besar untuk diterapkan di industri kimia.



Gambar 2. Skema *Reactive Dividing Wall Column* utk Etil asetat

Dalam penelitian ini, RDWC akan disimulasikan untuk mendapatkan kemurnian produk pada distilat, *side stream* dan *bottom* dalam satu unit sebagai alternatif rangkaian RD dan kolom distilasi. *Reboiler duty* dan *distillate rate* akan divariasikan pengaruhnya terhadap kemurnian produk di distilat, *side stream* dan *bottom*.

Metodologi

Simulasi pembuatan etil asetat dengan RDWC menggunakan katalis asam sulfat menerapkan metodologi sebagai berikut:

1. Studi pustaka dan simulator Aspen Plus

Studi pustaka dilakukan untuk mendapatkan perkembangan mutakhir rancangan dan operasi R-DWC khususnya untuk memproduksi etil asetat dari etanol dan asam asetat. Aspen Plus adalah program simulasi proses kimia pada kondisi tunak yang dapat memodelkan kolom RDWC, yang didekati dengan dua kolom RadFrac.

2. Pemodelan proses

Aspen Plus mempunyai modul RadFrac, yang dapat memodelkan kolom pemisahan dengan mengasumsikan terjadi kesetimbangan fasa uap-cair pada setiap tahapnya. Modul ini juga mampu menangani reaksi yang terjadi selama pemisahan di dalam kolom. Pada penelitian ini, sintesis etil asetat diasumsikan mencapai kesetimbangan reaksi dengan katalis H_2SO_4 , yang ditentukan dari harga $\Delta G = 0$. Model NRTL digunakan untuk menghitung besaran termodinamika campuran pada fasa cair dan gas.

3. Validasi model proses

Validasi bertujuan mengevaluasi kelayakan model untuk proses simulasi. Model proses untuk kolom RDWC divalidasi menggunakan data literatur, dengan membandingkan hasil yang diperoleh dari model yang telah dibuat dengan hasil dari literatur (Hernandez, S. dkk, 2012).

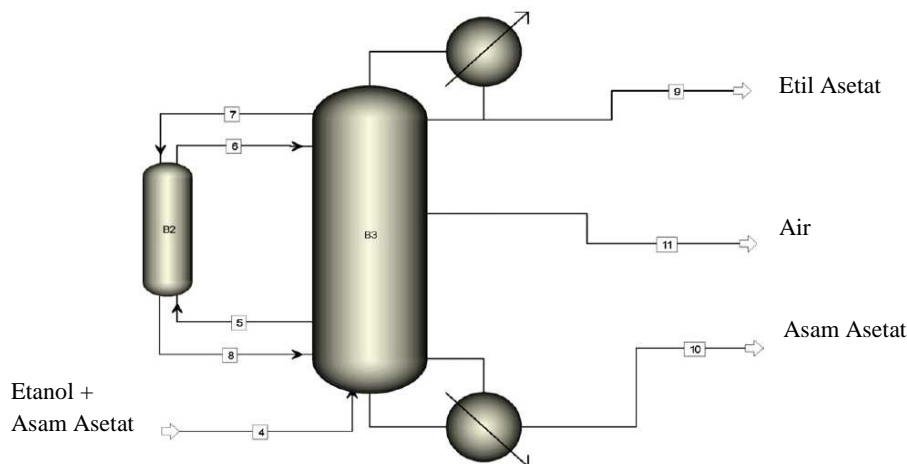
4. Simulasi proses

Model yang sudah valid digunakan untuk simulasi proses, yaitu mempelajari pengaruh *reboiler duty* dan *distillate rate* terhadap kemurnian produk pada distilat, *side stream* dan *bottom*.

Hasil dan Pembahasan

Pembuatan kolom RDWC pada penelitian ini dilakukan dengan pendekatan dua model kolom RadFrac, seperti disajikan pada Gambar 3. Kolom utama adalah kolom dimana terdapat *condenser* dan *reboiler*. Sementara itu, kolom samping disebut juga kolom prefraksionasi. Kondisi operasi dan konfigurasi kolom disesuaikan dengan data literatur dan disajikan pada Tabel 1 (Hernandez, S. dkk, 2012). Validasi dilakukan dengan membandingkan profil temperatur dan komposisi etil asetat dan air sepanjang kolom RDWC yang dihasilkan dari simulasi dengan data literatur dan disajikan pada Gambar 4 - 6. Gambar 4 menunjukkan profil temperatur mempunyai selisih 2 – 5 % dibandingkan data literatur. Temperatur naik secara bertahap mulai dari tahap 1 sampai tahap 11 untuk kolom utama, sedangkan pada kolom prefraksionasi mulai dari tahap 4 sampai tahap 6. Perbedaan ini disebabkan hilang

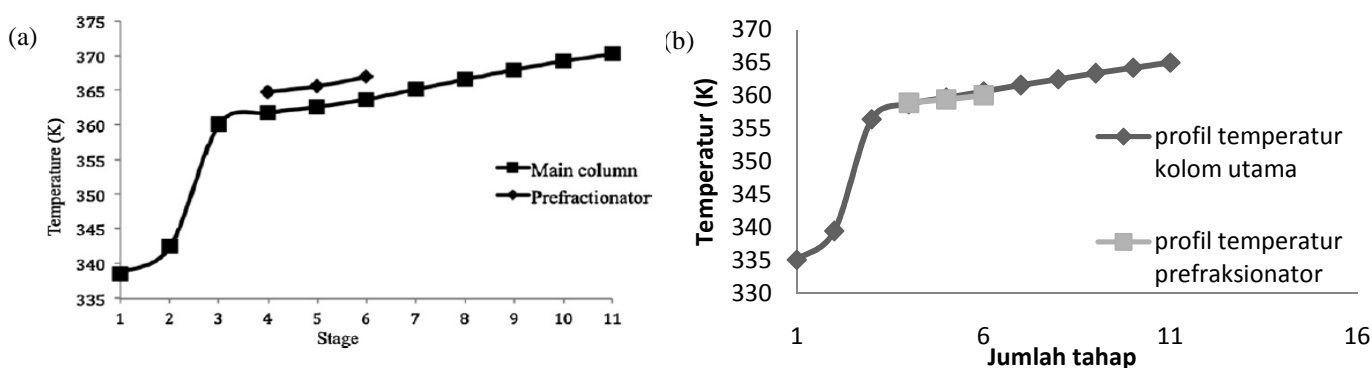
tekan sepanjang kolom yang tidak diketahui dari data literatur. Gambar 5 menunjukkan profil komposisi etil asetat yang hampir mendekati dengan profil komposisi etil asetat pada literatur. Komposisi etil asetat turun drastis pada tahap kedua dan relatif konstan pada tahap-tahap selanjutnya. Gambar 6 menunjukkan profil komposisi air dibandingkan dengan profil komposisi air pada literatur yang menunjukkan bahwa komposisi air meningkat pada tahap yang kedua kemudian berturun bertahap sampai ke tahap 11 dengan nilai 0,4 mol. Pada proses validasi ini, konversi asam asetat diperoleh sebesar 94,46%. Perbedaan yang diperoleh masih dalam rentang toleransi sesuai literatur, sehingga seluruh hasil validasi yang diperoleh dapat dilanjutkan dengan simulasi proses.



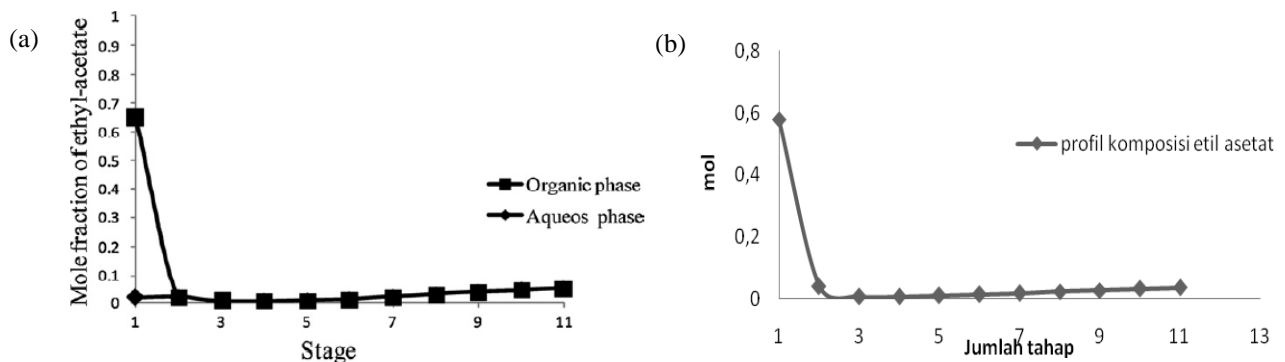
Gambar 3. Kolom RDWC dan aliran prosesnya

Tabel 1. Kondisi Operasi dan Konfigurasi Kolom RDWC

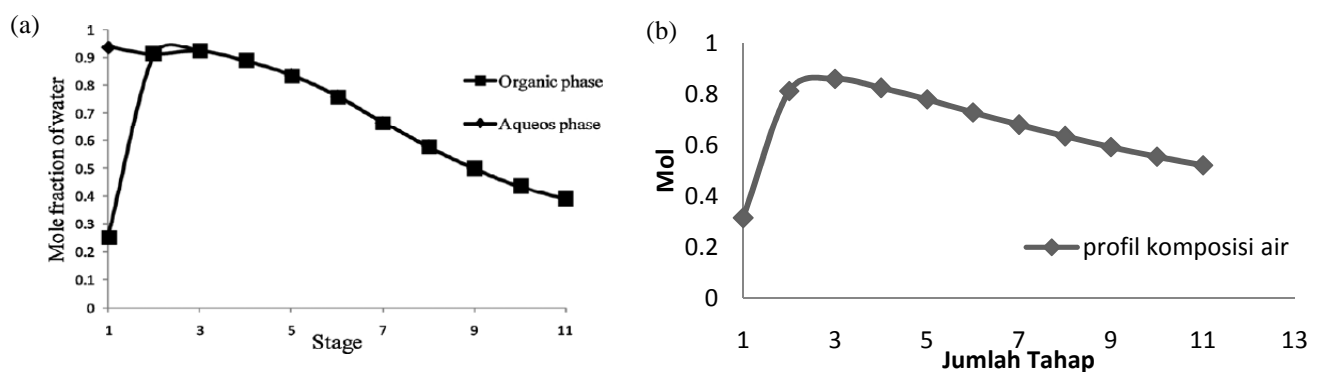
Kondisi Operasi	Nilai	Konfigurasi Kolom RDWC	Nilai
Condenser heat duty (kW)	-2.37	Jumlah tahap kolom prefraksionasi	3
Reboiler heat duty (kW)	2.13	Jumlah tahap kolom utama	11
Distillate Rate (mol/jam)	88.902	Tahap aliran <i>liquid</i> di kolom utama	5
Aliran interkoneksi <i>liquid</i> (mol/jam)	6	Tahap aliran <i>vapor</i> di kolom utama	7
Aliran interkoneksi <i>vapor</i> (mol/jam)	8		
Suhu condenser ($^{\circ}\text{K}$)	338.47		
Suhu reboiler ($^{\circ}\text{K}$)	370.28		
Laju alir asam asetat (mol/jam)	60		
Laju alir etanol (mol/jam)	60		
Tekanan reboiler (atm)	0.795		



Gambar 4. Grafik profil temperatur sepanjang kolom RDWC: (a). Literatur, (b) Simulasi

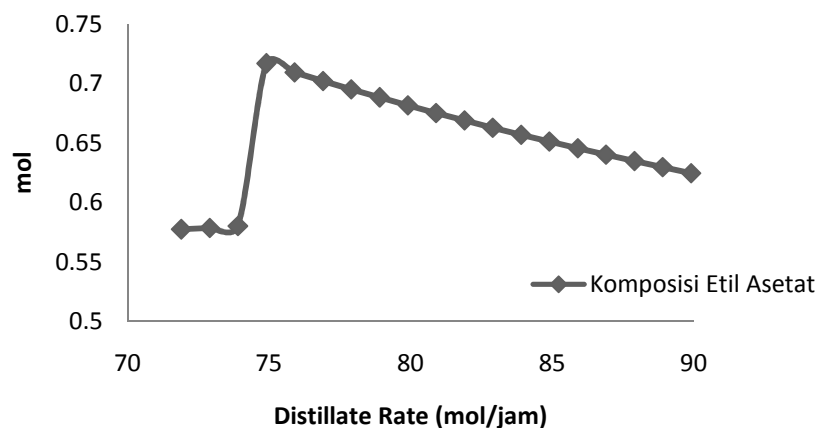


Gambar 5. Profil Komposisi Etil Asetat : (a) Literatur, (b) Simulasi

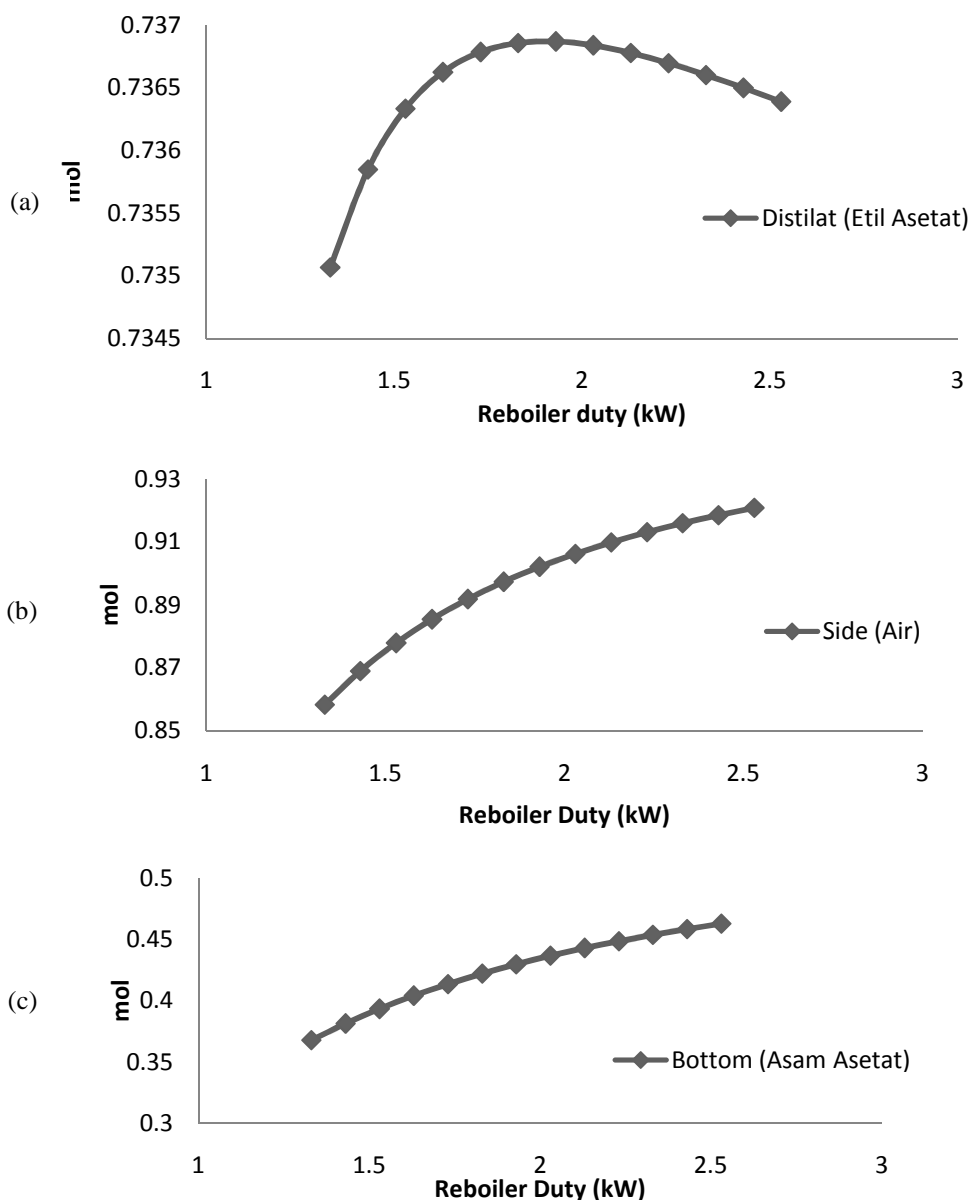


Gambar 6. Profil Komposisi Air: (a). Literatur, (b). Simulasi

Simulasi proses pada penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan *reboiler duty* (Q_r) dan *distillate rate* (D) sebagai *manipulated variable* yang terdapat dalam RDWC. Pemilihan *reboiler duty* dipilih karena secara tidak langsung dapat memvariasikan *boil up ratio* dan *boil up rate*. Sementara itu, pemilihan *distillate rate* (D) karena diduga akan mempengaruhi produk atas yaitu etil asetat. Pada mulanya, *distillate rate* divariasikan pada *reboiler duty* konstan sebesar 2.13 kW seperti disajikan pada Gambar 7. Harga komposisi etil asetat maksimum diperoleh pada *distillate rate* = 74.902 mol/jam. Setelah itu, harga *reboiler duty* divariasikan pada harga *distillate rate* konstan = 74.902 mol/jam tersebut, yang hasilnya disajikan pada Gambar 8.



Gambar 7. Pengaruh *Distillate Rate* pada *reboiler duty* konstan = 2.13 kW



Gambar 8. Pengaruh *Reboiler Duty* pada *Distillate Rate* konstan = 74.902 mol / jam

(a). Etil Asetat (b). Air (c). Asam Asetat

Pada *distillate rate* 74.902 mol/jam, harga *reboiler duty* yang direkomendasikan adalah sebesar 1.93 kW, yaitu fraksi mol etil asetat di distilat sebesar 0.7369, air di *side product* sebesar 0.9021, dan asam asetat di *bottom* sebesar 0.4298. Gambar 8(b) dan 8(c) menunjukkan kenaikan fraksi mol air dan asam asetat secara kontinyu. Tetapi, pengaruh kenaikan *reboiler duty* menunjukkan fraksi mol etil asetat mempunyai harga *optimum* seperti disajikan pada Gambar 8(a). Karena itu, *reboiler duty* yang direkomendasikan adalah sebesar 1.93 kW ketika menghasilkan fraksi mol etil asetat *optimum* sebesar 74.69%. Kemurnian etil asetat ini merupakan perolehan terbaik yang dicapai, meskipun air pada *side product* dan asam asetat pada *bottom* dapat mencapai kemurnian yang lebih tinggi lagi dengan memvariasikan *reboiler duty* pada rentang yang lebih luas dengan kondisi *distillate rate* sebesar 74.902 mol/jam. Pengotor pada distilat yang bercampur dengan kemurnian etil asetat yang utama adalah etanol dan air, sehingga penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menaikkan kemurnian etil asetat dengan kolom RDWC. Sementara itu, kemurnian produk bawah juga belum sesuai harapan yaitu asam asetat yang cukup murni untuk *direct cycle* sebagai umpan kolom RDWC.



Kesimpulan

Simulasi pembuatan etil asetat dengan RDWC menggunakan katalis asam sulfat melibatkan dua tahap yang paling penting untuk memperoleh kemurnian etil asetat yang terbaik, yaitu pemodelan yang telah divalidasi dan simulasi proses. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh kemurnian etil asetat yang terbaik dengan *distillate rate* yaitu 74.902 mol/jam, sedangkan *reboiler duty* sebesar 1,93 kW. Kedua parameter ini merupakan kondisi optimum yang dapat menghasilkan kemurnian etil asetat sebesar 73,69 %, kemurnian air sebesar 90,21 %, dan kemurnian asam asetat sebagai produk bawah sebesar 42,98 %. Untuk penelitian lebih lanjut, pentingnya penggunaan katalis heterogen di dalam kolom RDWC, model kinetika reaksi sebagai pengganti model reaksi kesetimbangan, menambahkan unit dekanter sebagai tahapan proses pemurnian lebih lanjut, dan melakukan simulasi dengan memvariasikan jumlah tahap kesetimbangan pada setiap bagian kolom untuk meningkatkan kinerja RDWC.

Daftar Notasi

P = Tekanan [atm]

T = Suhu [$^{\circ}$ K]

D = Distillate Rate [mol/jam]

Qr = Reboiler Duty [kW]

F = Laju Alir [mol/jam]

Daftar Pustaka

- Ahmed Zeki, Nada S., Al-Hassani, Maha H., dan Al-Jendeel, Haider A. (2010). "Kinetic Study of Esterification Reaction" (Online), Al-Khwarizmi Engineering Journal, Vol. 6, No. 2, PP 33-42, (<http://www.iasj.net/iasj?func=fulltext&aId=2335>, diakses 3 September 2014)
- Dian Ratnasari dan Marlina Ika (2013). "Prarancangan Pabrik Etil Asetat Dari Etanol dan Asam Asetat Dengan Reactive Distillation Kapasitas 20.000 ton/tahun". Jurusan Teknik Kimia Universitas Sebelas Maret.
- Gheorghe Bumbac, Valentin Plesu, Cristian Ciornei, Alexandra Elena Plesu (2004). "Modeling and simulation the process in a reactive dividing wall column for gasoline additive TAME synthesis in the oil refinery" (<http://www.nt.ntnu.no/users/skoge/prost/proceedings/icheap8pres07/pres07webpapers/115%20Bumbac.pdf>, diakses 10 Agustus 2014)
- Hernandez, Salvador., Sandrova Rodrigo (2009). "Reactive dividing wall distillation columns: Simulation and implementation in a pilot plant" (Online), Chemical Engineering and Processing PP 250–258, (http://www.researchgate.net/publication/223197152_Reactive_dividing_wall_distillation_columns_Simulation_and_implementation_in_a_pilot_plant, diakses 4 Agustus 2014)
- Hiroya Seki dan M. Shamsuzzoha (2012). "Design and Analysis of Dividing Wall Column". (online), Proceedings of the 6th International Conference on Process Systems Engineering (PSE ASIA) 25 -27 June 2013, Kuala Lumpur. (<http://www.sps.utm.my/download/PSEAsia2013-66.pdf>, diakses 3 September 2014)
- I-Kuan Lai, Yan-Chun Liu, Cheng-Ching Yu, Ming-Jer Lee, Hsiao-Ping Huang (2008). "Production of high-purity ethyl acetate using reactive distillation: Experimental and start-up procedure" (online) Chemical Engineering and Processing 47 (2008) 1831–1843, (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0255270107003340> diakses 14 September 2014)
- Kelvin Chong Chee An (2009). "Simulation of Heterogeneously Catalysed Esterification For The Biodiesel Production Using Reactive Distillation Column". (online), (http://umpir.ump.edu.my/834/1/Chong_Kelvin_Chee_An.pdf, diakses 14 September 2014)



Lembar Tanya Jawab

Moderator : Jarot Raharjo (Pusat Teknologi Material, BPPT)

Notulen : Adi Ilcham (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Zainal Arifin (Politeknik Negeri Samarinda)
Saran : Perlu dilakukan verifikasi dengan eksperimen. Dapat sharing dengan UGM yang telah menggunakan distilasi reaktif.

